

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ШУМОВОЇ ЗАВАДИ ТА ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ НА РОЗБІРЛИВІСТЬ МОВИ ФОРМАНТНИМ МЕТОДОМ

Стаття присвячена використанню критерію розбірливості мови для оцінки захищеності мовної інформації. Формантним методом проаналізовано вплив шумових завад та звукоізоляції на розбірливість мови.

Article focuses on use of intelligibility criterion for security evaluation of speech information. The impact of soundproofing and noise interferences are analysed by formant method.

1. ВСТУП

Здобування конфіденційної мовної інформації завжди було, є й буде одним із головних завдань військового, політичного, промислового, комерційного та інших видів шпигунства, оскільки вона містить оперативні дані щодо діяльності організацій чи осіб і дає можливість оцінити відношення співрозмовників до предмету розмови. Тому проводяться певні заходи щодо захисту мовної інформації від витoku технічними каналами. Важливою задачею при цьому є об'єктивна оцінка ефективності цих заходів та рівня захищеності, яка проводиться при атестаційних випробуваннях та в процесі оперативного контролю [1, 2].

Оскільки суттєвий вплив на погіршення сприйняття мовної та іншої акустичної інформації мають різного роду шумові завади, і методи захисту акустичної інформації ґрунтуються на забезпеченні такого співвідношення між корисним сигналом і шумом, при якому сприйняття інформації в певній мірі було би неможливим, то в якості критерію захищеності використовують відповідність нормам відношення сигнал/шум, виміряного в контрольних точках можливого знімання інформації [3]. Однак, останнім часом набуває широкого вжитку критерій розбірливості мови, який більш точно відображає сприйняття смислової складової мовного повідомлення й ефективність прийнятих заходів захисту мовної інформації існуючим загрозам. При цьому потрібно вирішувати задачі оцінки впливу шумових завад та звукоізоляційних конструкцій на розбірливість мови.

¹ Національний університет кораблебудування

Існує цілий ряд суб'єктивних і об'єктивних методів визначення розбірливості мови [4, 5], які використовуються в системах мовного зв'язку, але в галузі інформаційної безпеки наразі використовується формантний метод, що базується на залежності між відношенням сигнал/шум і розбірливістю мови. Це дає можливість розглядати нові створювані методики оцінки захищеності мовної інформації як розвиток уже існуючих сертифікованих методик.

Російськими вченими під керівництвом А.А. Хорева розроблено методику оцінки захищеності мовної інформації по критерію розбірливості [6, 7], яка полягає в інструментальному вимірюванні відношення сигнал/шум у контрольних точках та розрахунку мовної розбірливості формантним методом у версії М.Б. Покровського з апроксимацією залежностей аналогічно методу АІ [5, 8], що дає можливість автоматизації розрахунків. Ця методика рекомендована Держтехкомісією Росії до використання. В якості нормативного критерію взято словесну розбірливість, як таку, що визначає смислову зрозумілість перехопленого повідомлення.

В Україні питанням розвитку методів визначення розбірливості мови для задач інформаційної безпеки присвячено роботи В.С. Дідковського, А.М. Продеуса та ін. [8, 9, 10]. Українські вчені більше схиляються до використання формантного методу у версії М.А. Сапожкова [8]. Розглядаються також можливості використання формантно-модуляційного методу [9]. В роботі [10] обгрунтовано необхідність встановлення зв'язку між частотними властивостями звукоізоляційних конструкцій та розбірливістю мови.

Однак, в Україні критерій розбірливості мови в нормативних документах ДССЗІ поки що не використовується.

Метою даної роботи є визначення впливу шумових завад на розбірливість мови формантним методом та встановлення зв'язку між частотними властивостями звукоізоляційних конструкцій і формантною розбірливістю мови.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ШУМУ НА РОЗБІРЛИВІСТЬ МОВИ

Задачею дослідження було отримання залежностей складової та словесної розбірливості мови від відношення сигнал/шум при різних видах шумової завади. Для розрахунків використано формантний метод у трактовці, наведеній в [6], оскільки він є частиною сертифікованої інструментально-розрахункової методики.

Словесна розбірливість мови W визначається за формантною розбірливістю A (інтегральним індексом артикуляції мови R) з аналітичних співвідношень, наведених в [6],

$$W = \begin{cases} 1,54R^{0,25} [1 - \exp(-11R)], & \text{якщо } R < 0,15; \\ 1 - \exp\left(-\frac{11R}{1 + 0,7R}\right), & \text{якщо } R \geq 0,15. \end{cases} \quad (1)$$

які є апроксимацією графіка $W(A)$ представленого в [4].

Оскільки кожна з формант вносить свою частину інформації про звук мови незалежно від інших (принцип адитивності), то загальну формантну розбірливість мови визначають як суму значень формантної розбірливості в частотних смугах A_i (спектрального індексу артикуляції R_i):

$$A = \sum_{i=1}^n A_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot A_{mi} \quad \text{або} \quad R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot k_i, \quad (2)$$

де P_i – коефіцієнт (ймовірність) сприйняття формант для даної смуги, що враховує втрати формант через завади і залежить від відношення сигнал/шум; $k_i = A_{mi}$ – ваговий коефіцієнт i -ої частотної смуги, рівний ймовірності появи формант (максимально можливий формантній розбірливості) в даній частотній смузі, який визначається за формулою

$$k_i = A_{mi} = A_m(f_{vi}) - A_m(f_{ni}), \quad (3)$$

де значення $A_m(f_{vi})$ і $A_m(f_{ni})$ знаходяться з емпіричної функції розподілу появи формант $A_m(f)$ [4].

Аналіз проводився в діапазоні мовного сигналу 90...11200 Гц у семи октавних смугах з середньгеометричними частотами: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Це дає підвищення точності визначення формантної розбірливості на 7...9%, порівняно з інструментально-розрахунковою методикою, де перша та сьома октавні смуги не враховуються [11]. З урахуванням цього у формулі, що апроксимує залежність $A_m(f)$ потрібно було змінити частотний діапазон

$$A_m(f) = \begin{cases} 2,57 \cdot 10^{-8} \cdot f^{2,4}, & \text{якщо } 90 \leq f \leq 400 \text{ Гц;} \\ 1 - 1,074 \exp(-10^{-4} \cdot f^{1,18}), & \text{якщо } 400 < f \leq 11200 \text{ Гц.} \end{cases} \quad (4)$$

Інтегральний рівень мовного сигналу було прийнято рівним 70 дБ. Відповідні йому рівні інтенсивності в октавних смугах, що відповідають усередненому спектру мови, склали 63, 66, 66, 61, 56, 53, 49 дБ.

В якості шумової завади при аналізі було розглянуто "білий", "рожевий" та "коричневий" шуми. Інтегральні рівні шуму L_{int} задавались у діапазоні 45...95 дБ з дискретністю 5 дБ. Рівні

інтенсивності шумів в октавних смугах, виходячи з їх спектрів, визначались за формулами:

для "білого" шуму:

$$L_{\text{бш } i} = L_{\text{int}} - 3(8 - i); \quad (5)$$

для "рожевого" шуму:

$$L_{\text{рш } i} = L_{\text{int}} - 8,5; \quad (6)$$

для "коричневого" шуму:

$$L_{\text{кш } i} = L_{\text{int}} - 3 \cdot i, \quad (7)$$

де $i = 1 \dots 7$ – порядковий номер октавної смуги.

Алгоритм розрахунку наступний:

▪ задаються початкові дані:

- 1) інтегральний та октавні рівні мовного сигналу;
- 2) тип та інтегральні рівні шумової завади;
- 3) середньгеометричні та граничні частоти октавних смуг;

▪ для семи октавних смуг (в циклі) та n співвідношень інтегральних рівнів сигнал/шум за формулами з [6], які є аналітичною апроксимацією залежностей, наведених в [4], розраховуються:

- 1) формантний параметр ΔB_i ;
- 2) значення $A_m(f_{vi})$ і $A_m(f_{vi})$, що знаходяться з емпіричної функції розподілу появи формант $A_m(f)$ і відповідають верхній та нижній границі октавної смуги;
- 3) ваговий коефіцієнт кожної смуги $k_i = A_{mi} = A_m(f_{vi}) - A_m(f_{vi})$, що відображає ймовірність появи формант в даній частотній смузі;
- 4) рівні шумової завади $L_{\text{ш } i}$ за формулами (5) – (7);
- 5) відношення сигнал/шум у децибелах та ефективні рівні відчуття формант E'_i ;
- 6) коефіцієнт сприйняття формант P_i - за залежністю коефіцієнта сприйняття від ефективного рівня відчуття формант;
- 7) розбірливості формант в октавних смугах A_i (спектральний індекс артикуляції мови R_i);

▪ розраховуються формантна розбірливість мови A (інтегральний індекс артикуляції мови R), складова розбірливість S та словесна розбірливість мови W ;

▪ будуються графіки залежностей формантної, складової та словесної розбірливості від співвідношення сигнал/шум.

На основі даної методики було розроблено програму для виконання досліджень в Mathcad.

Отримані в процесі досліджень графіки залежності словесної розбірливості від відношення сигнал/шум при зашумленні "білим", "рожевим" та "коричневим" шумом наведені на рис. 1.

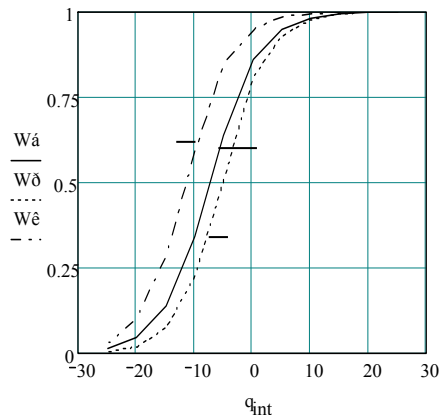


Рис.1 Залежність словесної розбірливості мови від відношення сигнал/шум при "білому" (1), "рожевому" (2) та "коричневому" (3) шумі

Графіки досить близько співпадають з експериментальними кривими, отриманими методом артикуляційних випробувань [11], та аналогічними графіками, наведеними в [8]. З графіків видно, що при однаковому відношенні сигнал/шум найнижчою буде розбірливість мови при зашумленні "рожевим" шумом (він матиме найкращу маскувальну здатність). Найменш ефективним буде зашумлення коричневим шумом.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ

Задача даного дослідження полягала у отриманні частотних залежностей октавних рівнів звукоізоляції та відносного зниження формантної розбірливості для огорожувальної конструкції (ОК) та їх порівнянні.

Для дослідження було взято типову одношарову дверну конструкцію. Схема лабораторної установки показана на рис. 2. В якості генератора ГС використано генератор шуму з регульованим спектром [12]. Сигнал відтворювався активною акустичною системою Gemix TF-611 та вимірювався шумоміром ВШВ-003.

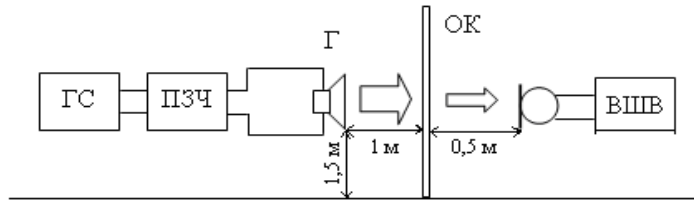


Рис. 2. Схема лабораторної установки

Вимірювання та розрахунок октавних рівнів звукоізоляції виконувались за стандартизованою методикою, детально описаною в [2]. При цьому генератором задавався тестовий сигнал "білого" шуму з інтегральним рівнем 70 дБ (на відстані 0,5 м від гучномовця) та вимірювались його рівні L_{Ti} у семи октавних смугах з середньгеометричними частотами: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Потім в контрольній точці (на відстані 0,5 м за огорожувальною конструкцією) вимірювались октавні рівні шуму $L_{шi}$ (при відсутності тестового сигналу) та сумарного сигналу $L_{(с+ш)i}$. Октавні рівні корисного сигналу в контрольній точці розраховувались за співвідношенням

$$L_{ci} = \begin{cases} L_{(с+ш)i}, & \text{якщо } L_{(с+ш)i} - L_{шi} \geq 10 \\ L_{(с+ш)i} - \Delta, & \text{якщо } L_{(с+ш)i} - L_{шi} < 10 \end{cases}, \quad (8)$$

де Δ – поправка, взята з табл.1.

Таблиця 1

Поправка рівня корисного сигналу

$L_{(с+ш)i} - L_{шi}$	≥ 10	6...10	4...6	3	2	1	0,5
Δ	0	1	2	3	4	7	10

Октавні рівні звукоізоляції Q_i розраховувались за формулою

$$Q_i = L_{Ti} - L_{ci} \quad (9)$$

Отримана частотна характеристика звукоізоляції приведена на рис.3.

Аналогічні вимірювання і розрахунки були проведені для

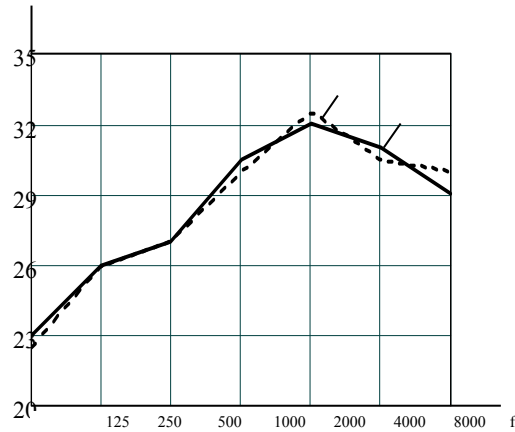


Рис.3. Частотна характеристика звукоізоляції: 1 – при тестовому сигналі "білого" шуму; 2 – при тестовому сигналі зі спектром довготривалої мови

тестового сигналу зі спектром, що відповідає узагальненому спектру довготривалої мови. При інтегральному рівні сигналу 70 дБ його рівні в октавних смугах становили відповідно 63, 66, 66, 61, 56, 53, 49 дБ.

Розрахунок октавних рівнів звукоізоляції підтвердив, що вони не залежать від рівня і спектру сигналу, відхилення знаходяться в межах похибки вимірювання (рис.3).

Для даного тестового сигналу було визначено відношення сигнал/шум в контрольній точці та розраховано розбірливість формант в октавних смугах A_i (спектральний індекс артикуляції) по розглянутій вище методиці. Графік залежності розбірливості формант в октавних смугах від частоти наведено на рис. 4. Там же приводяться залежності максимальної формантної розбірливості (ймовірності появи формант) A_{mi} , ймовірності сприйняття формант P_i , та абсолютних

$$\Delta A_i = A_{mi} - A_i \quad (10)$$

і відносних

$$\delta A_i = \frac{A_{mi} - A_i}{A_{mi}} = 1 - P_i \quad (11)$$

втрат формант у октавних смугах (зниження спектрального

індексу артикуляції). Відносні втрати формант являють собою ймовірність втрати.

Як бачимо, що, хоч рівень звукоізоляції в октавній смузі з середньгеометричною частотою 2000 Гц має максимум, кількість сприйнятих формант в ній є досить високою. Також з частотної характеристики звукоізоляції не можна передбачити високу ймовірність сприйняття формант в октавних смугах з середньгеометричними частотами 500, 1000 та 8000 Гц.

Таким чином, використання частотних характеристик зниження формантної розбірливості дозволяє більш точно оцінити ефективність звукоізоляції в захисті мовної інформації. Ці характеристики можуть бути використані і для оцінки захисного впливу шумових завод.

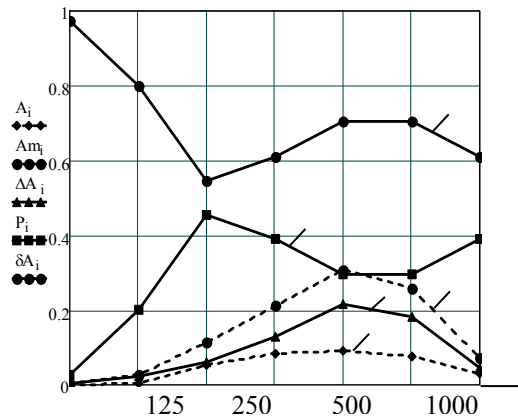


Рис.4. Частотні залежності розбірливості формант (1), ймовірності появи формант (2), ймовірності сприйняття формант (3) та абсолютних (4) і відносних (5) втрат формант у октавних смугах

Важливо, однак, пам'ятати, що отримані характеристики будуть залежати від рівня та спектру корисного сигналу.

4. ВИСНОВКИ

1. Отримані залежності розбірливості мови від відношення сигнал/шум дозволять спростити і прискорити оцінювання захищеності мовної інформації в контрольних та спеціальних дослідженнях, а також оцінювати можливості зниження розбірливості мови за рахунок постановки шумових завод. В діапазоні словесної розбірливості від 20 до 40%, при якій забезпечується приховання

змісту переговорів, її залежність від відношення сигнал/шум є пропорційною і може бути врахована відповідним коефіцієнтом. При менших значеннях потрібно враховувати нелінійний характер залежності.

2. Частотна характеристика звукоізоляції не дає можливості оцінити вплив звукоізоляційної конструкції на розбірливість мови. Використання частотних характеристик втрат формантної розбірливості, дозволить більш адекватно оцінювати можливості звукоізоляційних конструкцій та шумових завод щодо захисту мовної інформації.

1. Торокин А.А. *Инженерно-техническая защита информации* / А.А.Торокин. - М.: Гелиос АРВ, 2005. - 960 с. 2. *Технические средства и методы защиты информации* / А.П. Зайцев, А.А. Шелупанов, Р.В. Мецераков и др. Под ред. А.П. Зайцева и А.А. Шелупанова. - М.: ООО Издательство Машиностроение», 2009 – 508 с. 3. *Методика контролю захищеності мовної інформації від виток акустичним та віброакустичним каналами: НД ТЗІ 2.3-017-08.* – К.: ДССЗЗІ України, 2008. – 18 с. 4. Покровский Н.Б. *Расчет и измерение разборчивости речи* - М.: Гос. изд-во литературы по вопросам связи и радио, 1962. – 392 с. 5. Алдошина И.А. *Субъективные и объективные методы оценки разборчивости речи* // *Звукорежисер.* – 2002. - № 3, №8. 6. Хорев А.А. *Методы защиты речевой информации и оценки их эффективности* / А.А.Хорев, Ю.К. Макаров // *Специальная техника.* – 2001. - № 4. – С. 22 – 33. 7. Дворянкин С.В. *Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации* / С.В. Дворянкин, Ю.К. Макаров, А.А. Хорев // *Защита информации. Инсайт.* – М.: 2007. -№2. – С.39-45. 8. *Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография* / Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. – Киев: Имэкс-ЛТД, 2008. – 420 с. 9. Продеус А.Н. *Формантный и формантно-модуляционный методы оценки разборчивости речи. Часть 1. Унификация алгоритмов* / А.Н. Продеус, Л.Б. Дронжевская, В.А. Климков, Д.А. Шагитова // *Электроника и связь.* – 2010. - № 6(59), ч.2. – С. 117 - 124. 10. Дідковський В.С. *Зв'язок між розбірливістю мови та звукоізоляцією* / В.С. Дідковський, В.П. Заєць, Д.П. Рудь, Н.О. Самійленко // *Електроника і зв'язь.* – 2010. - № 3(56) – С. 131 – 143. 11. Бацула А.П. *О достоверности оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам* / А.П. Бацула, А.А. Иванов, И.Л. Рева, В.А. Трушин // *Доклады ТУСУРа, № 1 (21), ч. 1, 2010.* – С.89–92. 12. Касьянов Ю.І. *Акустичний генератор шуму з регульованим спектром та фіксованими настройками* / Ю.І. Касьянов // *Захист інформації і безпека інформаційних систем: Матеріали 2-ої міжнародної науково-технічної конференції.* – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2013. – С. 136 – 137.